

基礎の補強やリニューアルに対して地盤改良の適用性の検討（その3）

木村 亮*・澤村 康生**

1. 研究の目的

杭基礎における下部構造の大規模化を防ぎ、水平耐力を確保することを目的として、フーチング下部に地盤改良を施した地盤改良複合杭が開発され、軟弱地盤や液状化地盤での適用性について研究が行われてきた。これまで筆者ら¹⁾は、動的遠心模型実験とその再現解析から、表層地盤で液状化が発生した場合においても、フーチング下部の地盤改良によって杭頭が拘束され、杭頭部の水平変位が小さくなることを明らかにした。しかしながら、周囲の地盤で側方流動が発生した際には、地盤改良部に大きな水平力が作用することで、杭頭変位や杭に発生する曲げモーメントが増大する懸念があった。そこで、過去の動的遠心模型実験¹⁾の土槽スケールにおいて地盤の側方流動の影響を検討し、同構造の優位性を確認した²⁾。しかしながら、実地盤と比較して狭い範囲を解析対象としており、側方流動の影響を過小評価している可能性があった。そこで本研究では、解析範囲を左右に拡張した条件において三次元動的弾塑性有限要素解析を実施し、液状化による表層地盤の側方流動の影響を改めて検討した。

2. 解析手法

本研究では、弾塑性有限要素解析コード DBLEAVES³⁾を用いて3次元土-水連成弾塑性有限要素解析を行った。図1に解析モデルと解析ケースを示す。解析対象は、杭基礎が設置されている位置において、支持層の上に10mの非液状化層、3mの液状化層がある場合とした。水平方向の解析範囲は、既往の研究^{2), 3)}における土槽スケール(22.5m)から両端を100mずつ延長し、さらに両端部に平坦な地盤を100mずつ追加することで境界の影響を小さくした。解析ケースは、杭頭部の地盤改良の有無と地表面の傾斜の有無をパラメータとして計4ケースとした。表層部が傾斜している条件については、既往の研究⁴⁾を参考に傾斜角4度に設定し、液状化層厚3mを維持したまま非液状化層厚のみを変化させた。地盤はCyclic mobility model⁵⁾、改良体はModified Drucker-Prager model⁶⁾、杭および上部工は弾性体を用いてそれぞれモデル化し、入力パラメータにはいずれも既往の研究¹⁾と同様の値を用いた。また、入力地震動についても既往の研究¹⁾において遠心模型実験の再現解析で使用されたものを用いた。

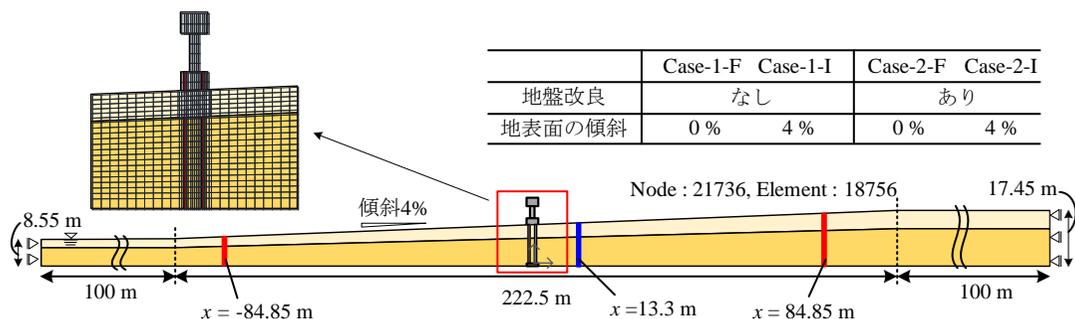


図1 解析モデルと実験ケース

*京都大学大学院工学研究科・教授, **同・准教授

3. 得られた成果

図2に $x = 84.85$ m における 20 s, 40 s 時点での地盤の水平変位の深度分布を示す。傾斜 0% のケースでは地盤の変位がほとんど見られないのに対して、傾斜 4% のケースでは液状化層において左方（下方）へ変位が発生しており、さらに時間の経過とともに変位量が大きくなっていることがわかる。地盤変位は液状化地盤でのみ発生していることから、傾斜 4% のケースでは表層部の液状化により地盤の側方流動が発生していることがわかる。ただし、地盤改良の有無による地盤の水平変位量の差はわずかであった。また、加速度の入力終了後（40 s 以降）の地盤変位はいずれの深さにおいてもわずかであった。

図3に杭頭部の水平変位が極小となる時刻（26 秒付近）と加振終了直後 40 秒における曲げモーメントの深度分布を示す。いずれの時刻においても地盤改良体内部の曲げモーメントがゼロに近い値になっており、地盤改良部下端において曲げモーメントが大きくなっている。傾斜の有無によらず地盤改良によって曲げモーメントが低減されていることがわかる。

以上の結果より、表層地盤が傾斜しており、地震時に地盤の液状化による側方流動が発生した場合においても、地盤改良と杭基礎を併用した地盤改良複合杭の有用性を確認した。

4. 謝辞

本研究は、株式会社 不動テトラより委託されたものであり、関係各位に謝意を表す。

発表論文

- 1) 村中結希, 澤村康生: 液状化地盤における側方流動発生時の地盤改良複合杭の挙動に関する数値解析的研究, 第 58 回地盤工学研究発表会, 2023-7.

参考文献

- 1) Sawamura, Y., Inagami, K., Nishihara, T., Kosaka, T., Hattori, M. and Kimura, M.: Seismic performance of group pile foundation with ground improvement during liquefaction, *Soils and Foundations*, Vol.61, No.4, pp.944-959, 2021.
- 2) 村中結希, 澤村康生: 液状化による側方流動の影響を受ける地盤改良複合杭の動的挙動に関する数値解析, 第 57 回地盤工学研究発表会, 2022-7.
- 3) 濱田政則, 若松加寿江: 液状化による地盤の水平変位の研究, 土木学会論文集, No.596/III-43, PP.189-208, 1998.
- 4) Ye, B., Ye, G. L., Zhang, F. and Yashima, A.: Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction-consolidation of sand, *Soils and Foundations*, Vol.47, No.3, pp.547-558, 2007.
- 5) Zhang, F., Ye, B., Noda, T., Nakano M. and Nakai, K.: Explanation of cyclic mobility of soils: Approach by stress-induced anisotropy, *Soils and Foundations*, Vol.47, No.4, pp.635-648, 2007.
- 6) Zhang, F., Kimura, M., Nakai, T. and Hoshikawa, T.: Mechanical behavior of pile foundations subjected to cyclic lateral loading up to the ultimate state, *Soils and Foundations*, Vol.40, No.50, pp.1-17, 2000.

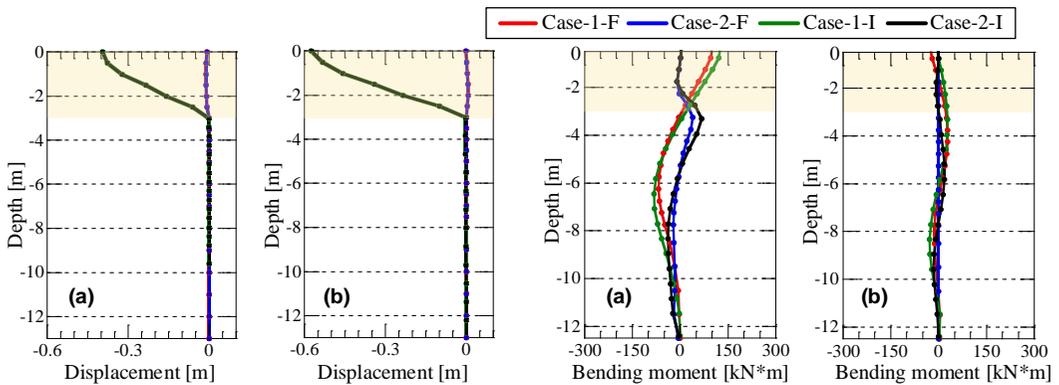


図2 地盤の水平変位の深度分布

(a) 加振 20 秒後

(b) 加振 40 秒後

図3 右杭の曲げモーメント分布

(a) 杭頭変位極小となる 26 秒付近 (b) 加振 40 秒後